

- [2] Brauer, Fred, and Carlos Castillo–Chavez, “Mathematical models in population biology and epidemiology”, vol. 40. New York: Springer, 2012.
- [3] Roberts M, Andreasen V, Lloyd A, Pellis L., ‘Nine challenges for deterministic epidemic models’, *Epidemics*, Mar 1; 10:49–53, 2015.
- [4] В. Н. Леоненко, *Математическая эпидемиология. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ*. СПб, Россия: Университет ИТМО, 2018.
- [5] В. І. Скицюк, і Т. Р. Ключко, “Підгрунття інформаційних властивостей панданних зон абстрактної сутності. Частина 1. Основні типи панданних зон”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 48(2), с.105-111, 2014.
- [6] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, і Т. Р. Ключко. Чутники електромагнітного випромінювання біотехнічних об’єктів: монографія. Київ: *Леся*, 2004. 64 с., іл.
- [7] Catoni, F., et al. *Mathematics of Minkowski Space*. Frontiers in Mathematics. Basel: *Birkhäuser Verlag*, 2008. doi:10.1007/978-3-7643-8614-6. ISBN 978-3-7643-8613-9. ISSN 1660-8046.
- [8] T. R. Klotchko, “Formalized model of the zone presence of structures of the biological objects”, *Microwave & Telecommunication Technology*, (IEEE Xplore), vol. 2, pp. 1036-1037, 2011.

УДК 541.136; 621.355.9

ВДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДІВ ЛІТІЙ–ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

¹⁾Родіонов В. Є., ²⁾Сорока С. О., ³⁾Родіонов Є. В.

¹⁾Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України", Відділ ядерно-фізичних технологій, Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

³⁾Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
E-mail: sso-ua@ukr.net

Неефективне використання енергоресурсів, перетворення хімічної енергії природного палива в інші види енергії, в основі якого лежить процес горіння, фактично поставив людство на грань екологічної катастрофи, тому енергозбереження є однією з найважливіших задач, спрямованих на збереження природних ресурсів і людства в цілому. Реалізація програм в даній області немислима без розвитку екологічно чистої сонячної і вітрової енергетики, а також створення екологічного транспорту на основі гібридних і електричних двигунів. Проблеми, що стримують розвиток найбільш ефективних індивідуальних сонячних і вітрових установок потужністю до 100 кВт і гібридного автотранспорту схожі і вимагають ефективного акумулювання енергії, що виробляється.

Найбільш ефективно, компактно і безпечно дані процеси могли б бути реалізовані за допомогою електрохімічних акумуляторів, однак існуючі промислові зразки на основі традиційних систем мають велику кількість недоліків: низьку питому енергію, токсичність, малий ресурс. При цьому

перспективи поліпшення їх параметрів виглядають сумнівно, так як розвиток даних акумуляторів практично досягло межі технічного вдосконалення.

Започаткована нами наукова робота полягає в отриманні нових методик створення та дослідженні нанорозмірних плівок на електродах літій-іонних акумуляторів отриманих за допомогою магнетронного напилення вуглецю та кремнію, які можуть покращити експлуатаційні характеристики акумуляторних батарей.

Основним завданням даної роботи є збільшити в 1,5 - 2 рази і більше існуюче відношення Wh kg^{-1} до 300-400 Wh kg^{-1} , зменшити в 3 - 4 рази собівартість основних катодних і анодних систем акумуляторів, що істотно зменшить його вартість.

Шар аморфного вуглецю є мезопористого структуру, сформованою з безлічі сферичних, пов'язаних між собою порожнин товщиною 0,05 – 0,1 мкм і повторює конфігурацію труєної підкладки з високою пористістю. Шар наноситься магнетронним розпиленням при подачі в робочу камеру робочого газу аргону. Параметри плівок вуглецю залежать від тиску аргону в камері напилення. Склад напилення плівки плавно змінюється при контрольованому вакуумметрами зміні тиску аргону.

Запропонований метод полягає в тому, що заявлений спосіб отримання тонкоплівкового нанокompозитного електродного матеріалу для негативного електрода літій-іонних акумуляторів на основі плівок, сформованих з нанорозмірних кластерів кремнію в оболонці з двоокису кремнію, які отримують в одну стадію магнетронним розпиленням кремнієвої мішені в плазмі, що містить аргон і контрольовані добавки кисню.

Зазначені наноструктуровані плівки отримують в плазмі магнетронного розряду, що містить 1 – 3 % кисню за об'ємом в аргоні. Збільшення або зменшення частки кисню в аргоні, який напускається в камеру для формування плазми, призводить до збільшення або зменшення вмісту двоокису кремнію в плівці. Це дозволяє регулювати вміст двоокису кремнію в плівці. За результатами електрохімічних досліджень вміст двоокису кремнію в плівці має перебувати в межах 16 – 41 вагових %, наноструктурований кремній в оболонці двоокису кремнію при цьому має кластерну структуру з розмірами кластерів 5 – 15 нм, що дозволяє забезпечити високі значення кулонівської ефективності та питомої ємності електрода літій-іонних акумуляторів.

Збільшення іонної провідності зразків відбувається в основному за рахунок зменшення опору кордонів зерен. Це може бути обумовлено декількома причинами: зменшення концентрації діелектричних домішок в поверхневому шарі, про що свідчать дані рентгенофазового аналізу; збільшення кількості контактів між частинками, підвищення концентрації і прискорення дифузії іонів літію в при поверхневому шарі за рахунок збільшення вакансійного розподілу.

Ключові слова: акумуляторна батарея, вакуумна камера, магнетронне напилення, нанорозмірні плівки.